

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-150999

(P2000-150999A)

(43)公開日 平成12年5月30日(2000.5.30)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード*(参考)
H 0 1 S 3/109		H 0 1 S 3/109	4 E 0 6 8
B 2 3 K 26/06		B 2 3 K 26/06	E 5 F 0 7 2
H 0 1 S 3/00		H 0 1 S 3/00	B
3/10		3/10	C

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 14 頁)

(21)出願番号 特願平10-328169

(22)出願日 平成10年11月18日(1998.11.18)

(71)出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72)発明者 今野 進

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

(72)発明者 安井 公治

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三

菱電機株式会社内

(74)代理人 100102439

弁理士 宮田 金雄 (外2名)

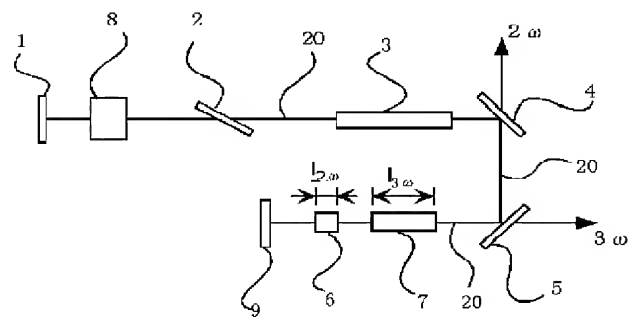
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 波長変換レーザ装置およびレーザ加工装置

(57)【要約】

【課題】 基本波レーザ共振器内部に第2高調波発生用変換結晶および和周波発生用波長変換結晶を配置して和周波レーザビームを発生させる波長変換レーザ装置において、高効率かつ調整が容易で再現性の良い安定なレーザ装置を安価に提供する。

【解決手段】 第2高調波発生用波長変換結晶の長さを和周波発生用波長変換結晶よりも短くした。



3: 固体レーザ活性媒質  
6: 第2高調波発生用波長変換結晶  
7: 和周波発生用波長変換結晶  
8: 共振器Q値変調用素子  
20: 光軸

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 第2高調波発生用波長変換結晶と和周波発生用波長変換結晶とを固体レーザ活性媒質を含むレーザ共振器内部の光軸上に配置した波長変換レーザ装置において、上記第2高調波発生用波長変換結晶の上記光軸方向の長さが上記和周波発生用波長変換結晶の上記光軸方向の長さより短いことを特徴とする波長変換レーザ装置。

【請求項2】 請求項1に記載した波長変換レーザ装置において、上記和周波発生用波長変換結晶が第3高調波発生用の波長変換結晶であることを特徴とする波長変換レーザ装置。

【請求項3】 請求項1に記載した波長変換レーザ装置において、上記和周波発生用波長変換結晶が複数の波長変換結晶からなることを特徴とする波長変換レーザ装置。

【請求項4】 請求項3に記載した波長変換レーザ装置において、上記和周波発生用波長変換結晶は2個の波長変換結晶からなり、第4高調波を発生することを特徴とする波長変換レーザ装置。

【請求項5】 請求項1に記載した波長変換レーザ装置において、上記和周波発生用波長変換結晶を上記固体レーザ活性媒質と上記第2高調波発生用波長変換結晶との間に配置したことを特徴とする波長変換レーザ装置。

【請求項6】 請求項1に記載した波長変換レーザ装置において、共振器Q値変調素子を上記レーザ共振器内部に配置したことを特徴とする波長変換レーザ装置。

【請求項7】 請求項1に記載した波長変換レーザ装置において、少なくとも1つの波長変換結晶の角度を $\pm 0.1$ 度以下の精度で微調整することのできる機構を備えたことを特徴とする波長変換レーザ装置。

【請求項8】 請求項1に記載した波長変換レーザ装置において、上記波長変換結晶のうち、少なくとも1つに、 $\pm 0.5$ 度以下の精度で波長変換結晶の温度をコントロールすることのできる機構を備えたことを特徴とする波長変換レーザ装置。

【請求項9】 請求項1に記載した波長変換レーザ装置において、上記レーザ共振器内部に偏光素子を配置したことを特徴とする波長変換レーザ装置。

【請求項10】 請求項1に記載した波長変換レーザ装置において、上記固体レーザ活性媒質としてNd:YAGまたはNd:YLFまたはNd:YVO<sub>4</sub>を用いたことを特徴とする波長変換レーザ装置。

【請求項11】 請求項1に記載した波長変換レーザ装置において、上記第2高調波発生用波長変換結晶および上記和周波発生用波長変換結晶の少なくともどちらかにLBO (LiB<sub>3</sub>O<sub>6</sub>) 結晶を用いたことを特徴とする波長変換レーザ装置。

【請求項12】 請求項1に記載した波長変換レーザ装置において、和周波レーザビーム出力が1W以上であるこ

とを特徴とする波長変換レーザ装置。

【請求項13】 請求項1に示した波長変換レーザ装置において、上記第2高調波発生用波長変換結晶と上記和周波発生用波長変換結晶の温度または角度を一体的に変化させるよう上記第2高調波発生用波長変換結晶と上記和周波発生用波長変換結晶を一体化した波長変換素子としたことを特徴とする波長変換レーザ装置。

【請求項14】 請求項1～請求項13のいずれか1項に記載の波長変換レーザ装置により発生した波長変換レーザビームにより被加工物を加工することを特徴とするレーザ加工装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、高出力で、高収束性の和周波レーザビームを安定に発生することが可能で再現性の高い波長変換レーザ装置およびレーザ加工装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】図15は例えば特開昭50-148096号公報に示された従来の波長変換レーザ装置を示す構成図である。図15において1は基本波レーザビームに対して高い反射率を有するレーザ共振器ミラー、3は固体レーザ活性媒質、6cは第2高調波発生用波長変換結晶、7cは和周波(第3高調波)発生用波長変換結晶、9は第2高調波レーザビームと基本波レーザビームに対して高い反射率を有するレーザ共振器ミラー、18は基本波レーザビームに対して高い反射率を有し、第2高調波レーザビームと和周波レーザビームに対して高い透過率を有するミラーである。

【0003】図15に示した波長変換レーザ装置においては、レーザ共振器ミラー1、9、およびミラー18、固体レーザ活性媒質3によって構成されるレーザ共振器により発生した基本波レーザビームはレーザ共振器内部に配置された第2高調波発生用波長変換結晶6cにより、その一部が第2高調波レーザビームに変換され、発生した第2高調波レーザビームの一部と基本波レーザビームの一部は和周波発生用波長変換結晶7cにより和周波レーザビームとしての第3高調波レーザビームに変換される。波長変換されなかった第2高調波レーザビーム( $2\omega$ )、および第3高調波レーザビーム( $3\omega$ )はミラー18から取り出される。以上のように構成された、レーザ共振器内部に和周波発生用波長変換結晶と第2高調波発生用波長変換結晶を挿入して、和周波レーザビーム発生を行う波長変換レーザ装置においては、それぞれの波長変換結晶の角度や温度を交互に調整して和周波レーザビーム出力を最大にする。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】図15のように、レーザ共振器内部に第2高調波発生用波長変換結晶と、和周波発生用波長変換結晶を挿入して和周波レーザビームを

発生させる波長変換レーザ装置を構成した場合、波長変換結晶角度、温度に依存して、波長変換効率が変化し、それにともない、レーザ共振器内基本波レーザビームの特性も変化するため、再現性のある装置を構成することが難しかった。その複雑さと装置を構成する難しさは、レーザ共振器内部に波長変換結晶を配置しない基本波レーザビーム発生装置や、レーザ共振器内部に通常1個だけ波長変換結晶を配置する第2高調波レーザビーム発生装置に比べてはるかに大きなものであった。また、特許公報第2654728号などにもレーザ共振器内部に波長変換結晶を配置した波長変換レーザ装置が開示されているが、この装置においても再現性のある装置を構成することが難しかったのは図15のものと同様である。

【0005】上記の波長変換結晶角度、温度に依存した波長変換レーザビーム出力変化の複雑さと、部品のばらつきや、作業者の個性といった製品を構成する上で避けることのできない障害が組合わさることによって、波長変換レーザ装置を工場等で製造、量産することが難しかった。また、製造や装置のメンテナンスに複雑な作業工程が含まれ、多額のコストがかかっていた。また、作業者の熟練を要していた。

【0006】また、最適配置に光学素子を設定し安定動作させている状態に比べて、アライメント作業中の方が、さまざまな配置を試験することになるため、光学素子にダメージを生じる可能性が高い。したがって、上記のように複雑な操作を要し、アライメントに時間がかかることによって、光学素子にダメージを生じさせる可能性も高かった。

【0007】また、上記のような波長変換レーザ装置から発生したレーザビームを加工に用いた場合、レーザ装置の構成部品（励起光源の半導体レーザ、ランプや、波長変換結晶、ミラー等の光学部品等）が損傷し、交換した場合等に、長時間にわたって光学系や共振器の調整を行う必要が生じたり、レーザ装置が修理前の状態を再現しないために、同じ動作条件で加工を行っても修理前の加工結果が再現しないことがあった。

【0008】

【課題を解決するための手段】この発明に係る請求項1に記載の波長変換レーザ装置は、レーザ共振器内部に第2高調波発生用波長変換結晶と和周波発生用波長変換結晶を配置して、和周波レーザビームを取り出す波長変換レーザ装置において、和周波発生用波長変換結晶より短い第2高調波発生用波長変換結晶を用いたものである。

【0009】また、請求項2に記載のレーザ装置は、請求項1に記載した波長変換レーザ装置において、和周波発生用波長変換結晶を第3高調波発生用波長変換結晶としたものである。

【0010】また、請求項3に記載のレーザ装置は、請求項1に記載した波長変換レーザ装置において、和周波発生用波長変換結晶が複数の波長変換結晶からなるもの

である。

【0011】また、請求項4に記載のレーザ装置は、請求項3に記載した波長変換レーザ装置において、上記和周波発生用波長変換結晶は2個の波長変換結晶からなり、第4高調波を発生することを特徴とするものである。

【0012】また、請求項5に記載のレーザ装置は、請求項1に記載した波長変換レーザ装置において、和周波発生用波長変換結晶が固体レーザ活性媒質と第2高調波発生用波長変換結晶の間の位置になるよう配置したものである。

【0013】また、請求項6に記載のレーザ装置は、請求項1に記載の波長変換レーザビーム発生装置において、共振器Q値変調用素子をレーザ共振器内部に配置したものである。

【0014】また、請求項7に記載の波長変換レーザ装置は、請求項1に記載の波長変換レーザ装置において、少なくとも1つの波長変換結晶の角度を、 $\pm 0.1$ 度以下の精度で微調整することのできる機構を備えたものである。

【0015】また、請求項8に記載の波長変換レーザ装置は、請求項1に記載の波長変換レーザ装置において、少なくとも1つの波長変換結晶の温度を $\pm 0.5$ 度以下の精度で微調整することのできる機構を備えたものである。

【0016】また、請求項9に記載の波長変換レーザ装置は、請求項1に記載の波長変換レーザ装置において、レーザ共振器内部に偏光素子を配置したものである。

【0017】また、請求項10に記載の波長変換レーザ装置は、請求項1に記載の波長変換レーザ装置において、固体レーザ活性媒質として、Nd:YAGあるいはNd:YLFあるいはNd:YVO<sub>4</sub>を用いたものである。

【0018】また、請求項11に記載の波長変換レーザ装置は、請求項1に記載の波長変換レーザ装置において、第2高調波発生用波長変換結晶および和周波発生用波長変換結晶の少なくともどちらかにLB0 (LiB<sub>3</sub>O<sub>5</sub>) 結晶を用いたものである。

【0019】また、請求項12に記載の波長変換レーザ装置は、請求項1に記載の波長変換レーザ装置において、和周波レーザビームの平均出力が1W以上としたものである。

【0020】また、請求項13に記載の波長変換レーザ装置は、請求項1に記載の波長変換レーザ装置において、第2高調波発生用波長変換結晶と和周波発生用波長変換結晶の温度または角度を一体的に変化させるよう第2高調波発生用波長変換結晶と和周波発生用波長変換結晶を一体化した波長変換素子としたものである。

【0021】また、請求項14に記載の装置は、請求項1～請求項13のいずれか1項に記載の波長変換レーザ装置により発生した波長変換レーザビームを光源として被加工物を加工するレーザ加工装置である。

## 【0022】

【発明の実施の形態】実施の形態1. 図1は本発明の実施の形態1を示す構成図であり、図1において1は基本波レーザービームに対して高い反射率を有するレーザ共振器ミラー、2は共振器内部基本波レーザービームの偏光状態を規定するプリズム板等の偏光方向規定素子、3は固体レーザ活性媒質、4は基本波レーザービームに対して高い反射率を有し、第2高調波レーザービームに対して高い透過率を有するミラー、5は和周波レーザービームに対して高い透過率を有し、第2高調波レーザービームおよび基本波レーザービームに対して高い反射率を有するミラー、6は第2高調波発生用波長変換結晶、7は和周波発生用波長変換結晶、8は共振器Q値変調用素子としてのQスイッチ素子、9は基本波レーザービームおよび第2高調波レーザービームに対して高い反射率を有するレーザ共振器ミラーである。また、20はレーザ発振の光軸を示す。ここで、図に示される通り、第2高調波発生用波長変換結晶6の光軸方向の長さ $l_{2\omega}$ は和周波発生用波長変換結晶7の光軸方向の長さ $l_{3\omega}$ よりも短く設定している。

【0023】図1に示す波長変換レーザ装置においては、レーザ共振器を構成するレーザ共振器ミラー1、9、および基本波に対しては折り返しミラーとして働くミラー4、5、固体レーザ活性媒質3、偏光方向規定素子2、Qスイッチ素子8によって発生する直線偏光基本波パルスレーザービームの一部はレーザ共振器内部に配置された第2高調波発生用波長変換結晶6によって第2高調波レーザービームに変換される。発生した第2高調波レーザービームの一部と第2高調波レーザービームに変換されなかった基本波レーザービームの一部は、レーザ共振器内部に配置された和周波発生用波長変換結晶7によって和周波レーザービームとしての第3高調波レーザービームに変換される。発生した第3高調波レーザービーム(3 $\omega$ )はミラー5から取り出され、第2高調波レーザービーム(2 $\omega$ )はミラー4から取り出される。

【0024】ここで、第2高調波発生用波長変換結晶6の光軸方向の長さ $l_{2\omega}$ を和周波発生用波長変換結晶7の光軸方向の長さ $l_{3\omega}$ よりも短くすることで、第2高調波発生用波長変換結晶の角度や温度が和周波発生に及ぼす影響が少なく、和周波発生効率も良いものが得られることが、本発明によって初めて明らかになった。以下にこの明らかにされた理由を詳細に説明する。

【0025】共振器内部波長変換による和周波レーザービーム発生時のレーザビーム出力の波長変換結晶角度依存性について説明するために、まず、共振器外部波長変換、すなわち波長変換結晶が共振器外部にある場合の第2高調波レーザービーム発生時におけるレーザビーム出力の波長変換結晶角度依存性について説明する。図2は“Handbook of Nonlinear Optical Crystals”, (Second, Revised and Updated Edition (Springer Verlag)) 等の文献に示されている、第2高調波レーザービ-

ム出力の位相整合角度 $\theta_0$ 前後の波長変換結晶角度 $\theta$ の依存性を模式的に示した図である。図2の横軸の波長変換結晶角度は位相整合角度からの角度ずれ( $\theta - \theta_0$ )

(基本波の入射条件は一定。)を用いている。図2において、第2高調波レーザービーム出力I、位相不整合量 $\Delta k$ 、第2高調波発生用波長変換結晶の長さlの関係は、 $I \sim (\sin(\Delta kl/2)/(\Delta kl/2))^2$  (1)

( $\sim$ は比例するの意。)で与えられる。(1)式中の位相不整合量 $\Delta k$ は、位相整合角度からの角度ずれ( $\theta - \theta_0$ )に比例する。

$$\Delta k \sim (\theta - \theta_0) \quad (2)$$

【0026】また、波長変換結晶の角度依存性を与える量として、位相整合角度許容幅( $\Delta\theta$ )が一般に使われており、図2に示したように第2高調波レーザービーム出力が、最高出力I( $\theta = \theta_0$ )= $I_0$ の半分 $I_0/2$ になる角度の間の角度幅が $\Delta\theta$ である。ここで、式(1)と $\Delta\theta$ の物理的意味から、 $\Delta kl = 0.886\pi$ のとき、( $\theta - \theta_0$ )= $\Delta\theta$ である。 $\Delta\theta$ は波長変換結晶およびその位相整合方法に固有の値である。“Handbook of Nonlinear Optical Crystals”, (Second, Revised and Updated Edition (Springer Verlag)) に報告されている具体的な数値例を挙げると、LBO(LiB<sub>3</sub>O<sub>5</sub>)のタイプ1角度位相整合第2高調波発生では、 $\Delta\theta = 0.34$ (度・cm)、KTP(KTiOP<sub>4</sub>)のタイプ2角度位相整合第2高調波発生では、0.53(度・cm)である。

【0027】波長変換結晶の角度を変化させていった際にピークが現われるのは、(1)式において $\Delta kl/2 = (2n+1)\pi/2$ ( $n=0, \pm 1, \pm 2, \dots$ )であるので、波長変換結晶長さlが長ければ長いほど、図2に示した第2高調波出力ピークの間隔とピーク1つ1つの幅が狭くなり、その結果として、第2高調波発生用波長変換結晶を一定の角度範囲で動かした場合に現われる第2高調波出力ピークの数には波長変換結晶長さが長いほど多くなる。

【0028】しかし、基本波レーザー共振器の外部に第2高調波発生用波長変換結晶を配置して第2高調波発生を行う場合、すなわち外部波長変換の場合、位相整合角度 $\theta_0$ (1)式において $\Delta kl=0$ における第2高調波出力が、図2に示すように周辺のピーク(1)式において $\Delta kl/2 = (2n+1)\pi/2$ ,  $n=0, \pm 1, \pm 2, \dots$ )における第2高調波出力に比べて十分大きく、実用上大きな問題が生じない程度にアライメントが容易であった。

【0029】この説明を基にして、以下にレーザ共振器の内部に第2高調波発生用波長変換結晶を配置して波長変換を行う場合、すなわち内部波長変換の場合について説明する。図3は、レーザ共振器内部に波長変換結晶として、第2高調波発生用波長変換結晶だけを配置して第2高調波発生を行った際の第2高調波レーザービーム出力と共振器内部基本波パワーの波長変換結晶角度依存性を模式的に示したものである。比較参考のため、同じ波長変換結晶を用いて外部波長変換を行った際の角度特性の

模式図を点線で示した。

【0030】図3のような特性が得られる理由を以下に説明する。レーザ共振器内部に第2高調波発生用波長変換結晶を配置し、レーザ共振器を基本波レーザビームに対して高い反射率をもつミラーのみで構成して第2高調波発生を行った場合、共振器内部基本波パワーのうち第2高調波に変換された部分が共振器外へ出力として取り出される。そのため、第2高調波への変換効率を高めることは、実効的に基本波の出力結合率を増すことと等価であり、逆に、変換効率を低くすることは、実効的に出力結合率を減らすことと等価である。従って、第2高調波への変換効率が高ければ共振器内部基本波パワーは低下し、第2高調波レーザビームへの変換効率が低ければ共振器内部基本波パワーは増加する。第2高調波発生用波長変換結晶角度を変化させた場合、図3に示すように、高い波長変換効率を持つ角度（例えば、位相整合角度 $\theta_0$ ）においては共振器内部基本波パワーが低下し、低い波長変換効率を持つ角度においては、逆に共振器内部基本波パワーは高くなる。一方、第2高調波出力は（波長変換効率）と（内部基本波パワー）の積で与えられるため、点線で示す外部波長変換時に比べて、内部波長変換では波長変換効率の高い角度における第2高調波レーザビーム出力と波長変換効率の低い角度における第2高調波レーザビーム出力との差が小さくなり、図3のように、位相整合角度 $\theta_0$ 以外のピーク（（1）式において $\Delta k l / 2 = (2n+1)\pi/2$ ,  $n=0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ）と位相整合角度 $\theta_0$ （（1）式において $\Delta k l / 2 = n\pi/2$ ,  $n=0$ ）における第2高調波出力の差が小さくなる。その結果、図3に示すように、第2高調波発生用波長変換結晶角度に依存した第2高調波出力の角度依存性に、出力に大きな差のないピークが複数現われ、角度を変えて最大の第2高調波出力が得られる角度を探す作業が複雑になる。このような内部パワー変化に起因した複雑な第2高調波レーザビーム出力の波長変換結晶角度依存性について過去に詳細に調べられたことはなかった。

【0031】また、以上に述べた内部波長変換時の共振器内部基本波パワーの第2高調波発生用波長変換結晶角度に依存した変化は、波長変換効率がより高くなる、共振器内部に共振器Q値変調用素子を配置してQスイッチ発振させた場合にはより顕著になる。この場合、上記の波長変換結晶角度に依存した第2高調波出力特性はより複雑になる。

【0032】上記に説明した特性を持つ内部波長変換の第2高調波発生の構成に、さらにレーザ共振器内に和周波発生用波長変換結晶を配置して和周波発生を行った際の和周波レーザビーム出力の、第2高調波発生用波長変換結晶の角度依存性について説明する。図4は、共振器内部和周波発生時に、第2高調波発生用波長変換結晶の角度を変化させた際の和周波レーザビーム出力および共振器内部基本波パワーの変化を模式的に示したものであ

る。第2高調波レーザビーム出力は、（波長変換結晶位置の基本波レーザビーム強度）<sup>2</sup>に比例し、和周波レーザビーム出力は、（波長変換結晶位置の第2高調波レーザビーム強度）×（波長変換結晶位置の基本波レーザビーム強度）に比例するため、和周波レーザビーム出力は、図3および、図4の点線に示した第2高調波出力に比べて、共振器内部基本波パワー変化の影響をより大きく受ける。その結果、図4に示すように、第2高調波発生時よりさらに、第2高調波発生用波長変換結晶角度が位相整合角度 $\theta_0$ （（1）式において $\Delta k l / 2 = n\pi/2$ ,  $n=0$ ）にあるときと周囲のピーク（（1）式において $\Delta k l / 2 = (2n+1)\pi/2$ ,  $n=0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ）にあるときの和周波レーザビーム出力の差は小さくなり、図3に示した第2高調波出力特性に比べてさらに同程度の出力を持つピークの数が増えることになり、第2高調波発生用波長変換結晶の角度を変化させつつ、和周波出力が最大となる角度を探す作業を非常に複雑にしていた。

【0033】また、第2高調波発生用波長変換結晶の長さがある一定の長さ以上に設定した場合は、図4に示すように、第2高調波レーザビーム出力が最も高くなる位相整合角度 $\theta_0$ およびその近くにおいては、和周波発生用波長変換結晶位置における第2高調波レーザビーム強度は高くなる反面、基本波レーザビーム強度が下がってしまい、図4の（a）（b）で示す部分のように、第2高調波出力の最大値が得られる位相整合角度 $\theta_0$ からずれた位置で最高の和周波レーザビーム出力が得られる場合があった。このような場合、ほぼ同等の和周波レーザビーム出力が得られるピークがさらに増える結果となる。波長変換レーザ装置を組み立てる手順を考えると、最初にレーザ共振器を構成するミラーのうちの1つを基本波の部分透過ミラーとして、基本波レーザビームの一部を共振器外に取り出しつつ、基本波出力に対してレーザ共振器ミラー等の光学素子配置を最適化する。その後、部分透過ミラーを全反射ミラーに取り替え、第2高調波発生用波長変換結晶をレーザ共振器内に挿入して第2高調波出力に対して光学素子および波長変換結晶角度を最適化する。その後、和周波発生用波長変換結晶をレーザ共振器内部に挿入して和周波発生出力に対して、波長変換結晶、光学素子のアライメントを行うが、和周波発生用波長変換結晶をレーザ共振器内部に挿入することによって、光学素子および波長変換結晶の最適角度が変わるのに加え、第2高調波発生にとって最適である第2高調波発生用波長変換結晶角度が、安定で高出力な和周波発生にとって最適な角度と一致するとは限らないため、再度、第2高調波発生用波長変換結晶およびレーザ共振器を構成する光学素子をアライメントし直す必要がある場合が多い。その結果、和周波レーザビームを発生させつつ、第2高調波発生用波長変換結晶の角度を変えて、最適角度を探すアライメント作業を行う必要があり、第2高調波発生用波長変換結晶角度に対して、大きさが同等

の和周波レーザビーム出力のピークが多く存在することが、再現性良く安定な波長変換レーザ装置を構成する上で大きな阻害要因となっていた。

【0034】また、共振器内部波長変換和周波レーザビーム発生装置において和周波レーザビーム出力を最大とすることを考えた場合、基本波から第2高調波への変換効率には最適値が存在し、高めれば高い方が良いわけではない。すなわち、第2高調波への変換効率が高過ぎると基本波が減少して、結果として和周波出力が下がってしまう。これに対し、基本波と第2高調波から和周波への変換効率は高めれば高いほど多くの和周波レーザビームを発生させることができる。このようにして、第2高調波への波長変換効率を抑えて、和周波への変換効率を高くするために、和周波発生用波長変換結晶の長さを長くして第2高調波発生用波長変換結晶を和周波発生用波長変換結晶より短く設定して、和周波発生効率を高くすることで、再現性よく、安定な波長変換レーザ装置が構成できることが、本発明により初めて明らかになった。

【0035】以下、第2高調波発生用波長変換結晶の長さによって、和周波出力の第2高調波発生用波長変換結晶角度依存性がどのように変わるかを説明するために、まず、和周波発生用波長変換結晶を挿入しなかった場合の第2高調波発生用波長変換結晶の長さが長い場合と短い場合の共振器内部基本波パワーと第2高調波出力の第2高調波発生用波長変換結晶角度に対する依存性の模式図をそれぞれ図5、図6に示す。

【0036】図5と図6を比較すると、図2、3において説明した理由から、図5に比べて図6すなわち第2高調波発生用波長変換結晶の長さが短い場合においては第2高調波レーザビーム出力（および基本波パワー）のピーク（およびディップ）の角度幅および角度間隔が広がるため、波長変換結晶角度に依存した第2高調波レーザビーム出力は変化も緩やかで、ピークの数も少ない。よって、短い第2高調波発生用波長変換結晶を用いることによって、第2高調波発生用波長変換結晶の角度に依存した波長変換レーザビーム出力を単純化することができ、より調整が容易な装置を構成できる。

【0037】さらに、共振器内部に和周波発生用波長変換結晶を配置して和周波発生させたときに、第2高調波発生用波長変換結晶として、長いものと短いものを用いた場合の和周波出力の第2高調波発生用波長変換結晶角度依存性を模式的に示したものをそれぞれ図7、図8に示す。図7と図8を比較すると、上記に説明した共振器内部第2高調波発生時と同じように、短い第2高調波発生用波長変換結晶を用いた図8の方が第2高調波レーザビーム強度（内部基本波パワー）のピーク（ディップ）角度幅とピーク（ディップ）間隔が広く、ピークの数が少ないため、第2高調波発生用波長変換結晶角度依存性が単純で取扱いの容易な装置を構成することができる。具体的な数値を挙げると、例えば、第2高調波発生用波

長変換結晶として、タイプ1位相整合のLBO (LiB<sub>3</sub>O<sub>5</sub>) 結晶を用いた場合、長さ15mmの結晶を用いた場合には、約8mradごとにピークが現われるのに対し、長さ5mmの結晶を用いた場合には、より広い角度である約24mradごとにピークが現われることが式(1)から予想され、実測値もこのピーク間隔とほぼ等しくなった。

【0038】また、図4で説明したように、長い第2高調波発生用波長変換結晶を用いた場合には、第2高調波発生用波長変換結晶の第2高調波レーザビーム出力が最も高くなる位相整合角度 $\theta_0$ およびその近くにおいて、基本波レーザビームから第2高調波レーザビームへの波長変換効率が高いために共振器内部基本波パワーが下がり、結果として、第2高調波発生用波長変換結晶角度に依存した和周波レーザビーム出力特性に、図7のように多数のピークが現われてしまう場合があった。これに対し、図8のように第2高調波発生用波長変換結晶を短くすることにより、位相整合角度 $\theta_0$ およびその近くにおいて基本波レーザビームから第2高調波レーザビームへの波長変換効率を低くして、変換されずに残った基本波レーザビーム強度を大きくして、第2高調波レーザビーム出力が最も高くなる位相整合角度 $\theta_0$ およびその近くで最大の和周波レーザビーム出力が得られるように装置を構成することが可能である。

【0039】次に、第2高調波発生用波長変換結晶の長さにより、得られる和周波出力がどのように変化するかを説明する。図9は、図1に示した内部波長変換和周波発生構成において、和周波発生用波長変換結晶の長さ $l_{\omega}$ を一定としつつ、第2高調波発生用波長変換結晶の長さを変化させた場合の和周波出力の変化を模式的に表わしたものである。図9に示すように第2高調波発生用波長変換結晶においては、その長さを変化させて、和周波出力をモニターすると、最大出力の得られるピーク（図9の1<sub>1</sub>の長さの点）が存在し、第2高調波発生用波長変換結晶長さを $l_1$ 以上の長さにすると和周波レーザビーム出力がわずかながら低下する場合が多く、少なくとも大きく出力が増加しない。その主な原因は、

(1) 第2高調波出力が増える効果よりも基本波内部パワーが低下する効果が大きくなること。

(2) 第2高調波発生用波長変換結晶の波長変換係数が大きくなることにより、パルス幅が長くなること。

である。もちろん、前述したように、第2高調波発生用波長変換結晶の長さが長くなれば、第2高調波発生用波長変換結晶角度に依存して和周波レーザビーム出力に多数のピークが現われてしまい、調整が容易でなくなるという不都合が生じる。

【0040】図9の特性について実験的に得られた具体的な数値を挙げる。図1と同様の構成で、和周波発生用波長変換結晶として長さ $l_{3\omega} = 10\text{mm}$ の第3高調波発生用のLBO結晶を用い、繰返し周波数数kHz、和周波出力5~10W程度の装置で第2高調波発生用波長変換結晶長さ



を変化させたところ、 $l_1$ はほぼ3mmであった。また、第2高調波発生用波長変換結晶の長さが13mmすなわち10mm以上では、図9に示したように第2高調波発生用波長変換結晶を長くしても出力が向上することなく、微小ながら低下する特性となっており、しかも図7で示したような第2高調波発生用波長変換結晶角度依存性となって調整が非常に複雑になることを実験的に確認した。このように、第2高調波発生用波長変換結晶の長さを和周波発生用波長変換結晶の長さより短くすることで、和周波の出力を十分に引き出し、しかも調整が容易なものが得られることが実験的にも確かめられた。

【0041】また、第2高調波発生用波長変換結晶を短く設定すると、第2高調波発生用波長変換結晶を一回通過したときの基本波レーザビームから第2高調波レーザビームへの波長変換効率が低下してパルス幅が短縮し、（たとえば、Journal of Applied Physics vol.41、p609（Pulse Lengthening via Overcoupled Internal Second-Harmonic Generation））基本波および第2高調波のピーク強度が高くなる。和周波発生効率は入射基本波と第2高調波の強度に比例するため、基本波と第2高調波から和周波への波長変換効率を高めるよう装置を構成することができる。

【0042】また、波長変換用の結晶は大きいものほど均質な結晶を製作するのは難しく、長さが長くなれば価格は加速度的に高くなる。従って、短い第2高調波発生用波長変換結晶を用いることは低価格化にもつながり、所望の性能を備えた波長変換レーザ装置を安価に構成することを可能にする。さらに、長さの下限としては、波長変換結晶の製造上の限度、および波長変換効率の低下を考えると0.5mm程度以上であればよい。

【0043】また、波長変換結晶の挿入位置に関し、図1の波長変換レーザ装置にあっては、和周波発生用波長変換結晶7が固体レーザ活性媒質3と第2高調波発生用波長変換結晶6の間の位置になるよう配置し、和周波出力をミラー5から取り出すように構成したため、和周波発生用波長変換結晶7を基本波と第2高調波が同時に通過するのは基本波と第2高調波がミラー9から反射して戻ってきた時の1回だけであり、波長変換結晶温度や角度の和周波発生効率へ与える影響が小さく安定な装置となる。これに対し、第2高調波発生用波長変換結晶と和周波発生用波長変換結晶との位置が逆になる、すなわち第2高調波発生用波長変換結晶が和周波発生用波長変換結晶と固体レーザ活性媒質との間の位置になるよう配置した場合は、和周波発生用波長変換結晶を基本波と第2高調波が同時に通過するのが第2高調波発生用波長変換結晶から入射する時とミラーから反射された時の2回となり、波長変換結晶温度や角度の和周波発生効率へ与える影響が大きく不安定な装置となる。実際に、図1の構成において、和周波出力が5～10W、パルス幅が～100nsのQ

生用波長変換結晶として長さ10mmのLBO結晶を、第2高調波発生用波長変換結晶として長さ5mmのLBO結晶を用いて、和周波発生用波長変換結晶の温度を変えて波長変換レーザビーム出力および、共振器内部基本波レーザビーム出力の変化を調べたところ、和周波出力が最高出力の95%となる温度幅（95%となる温度間の温度差）は、約1～2度であったのに対し、波長変換結晶の位置を逆にするとその温度幅は0.3度以下となり、図1の構成が優れていることが確認できた。

10 【0044】実施の形態2. 図1の第2高調波発生用波長変換結晶または和周波発生用波長変換結晶に、角度を $\pm 0.1$ 度以下の精度で微調整する機能を備えてもよい。一般に、角度位相整合型（主に波長変換結晶の角度を微妙に調整することにより位相整合をとらせる波長変換結晶であり、波長変換結晶角度に依存して大きく位相整合条件が変わる。）の波長変換結晶は、装置を取扱う上で、波長変換結晶角度の微調整がより多く必要とされるため、図2～8を用いて説明したような和周波出力の複雑な波長変換結晶角度依存性が大きく波長変換装置の操作に影響を及ぼす。従って、第2高調波発生用波長変換結晶を和周波発生用波長変換結晶より短くする効果は、

20 角度位相整合型の波長変換結晶を用いたときに、より大きい。本実施の形態のように $\pm 0.1$ 度以下の角度精度で微調整する機構を備えた波長変換レーザ装置においても、第2高調波発生用波長変換結晶を和周波発生用波長変換結晶より短く設定したことによって、再現性が高く、安定で取扱の容易な装置を構成することができる。

【0045】実施の形態3. 図1の第2高調波発生用波長変換結晶または和周波発生用波長変換結晶に、温度を $\pm 0.5$ 度以下の精度で微調整する手段を備えてもよい。波長変換結晶には温度許容幅が狭いものがあり、例えば、和周波発生用波長変換結晶として第3高調波発生用のタイプ2位相整合LBO結晶を用いた場合には、その温度許容幅（長さ1cmの結晶において、位相整合温度における変換効率に比べて変換効率が半分に低下する2つの温度の間の温度幅）は3.7度（例えば“Handbook of Nonlinear Optical Crystals”, (Second, Revised and Updated Edition (Springer Verlag) 等) が報告されている。このように比較的狭い温度許容幅をもつ波長変換結晶を用いた場合には、出力変動を実用上問題ない範囲に押さえ、波長変換結晶の急激な温度変化によって位相整合条件がくずれて共振器内部基本波パワーが上がることによる波長変換結晶へのダメージ発生を避け、長時間にわたって安定に運転を行うことが可能なレーザ装置を構成するためには、波長変換結晶の温度コントロールが必要な場合がある。本実施の形態においては、 $\pm 0.5$ 度以下の精度で波長変換結晶の温度をコントロールする機構を備えた波長変換レーザ装置において、第2高調波発生用波長変換結晶を和周波発生用波長変換結晶より短く設定したことによって、温度許容幅が狭い波長変換結晶を

30

40

50

用いた場合においても再現性が高く、安定で取扱の容易な装置を構成することができる。

【0046】実施の形態4. 図1の波長変換レーザ装置の固体レーザ活性媒質として、Nd:YAGを用いることができる。Nd:YAGは、化学的安定性、機械的強度が高く、また、比較的熱伝導性が良く、熱破壊限界の高いレーザ活性媒質である。また、他の固体レーザ活性媒質に比べて光学的に品質の高い結晶を安価に製造することが可能である。Nd:YAGを固体レーザ活性媒質として用い

れば、長期間にわたって、再現性が高く、安定で、高出力化が可能で取扱の容易な装置を安価に構成することができる。

【0047】実施の形態5. 図1の波長変換レーザ装置の固体レーザ活性媒質として、Nd:YLFを用いることもできる。Nd:YLFは、熱レンズ効果が小さい。一般に固体レーザ活性媒質を用いてレーザ装置を構成する場合、固体レーザ活性媒質の熱レンズ焦点距離の変動によってレーザ出力が不安定となる場合がある。また、Qパルス発振を行った際には、パルス間安定性が低下する場合がある。Nd:YLFを固体レーザ活性媒質として用い

れば、熱レンズ効果が小さいので、安定に動作する出力領域が広く、安定で取扱の容易な装置を構成することができる。また、Qパルス発振において和周波発生を行った場合は、パルス間安定性の高い装置を構成することが可能である。

【0048】実施の形態6. 図1の波長変換レーザ装置の固体レーザ活性媒質として、Nd:YVO<sub>4</sub>を用いることもできる。Nd:YVO<sub>4</sub>は、励起光に対する吸収幅が広く、誘導放出断面積が大きい。Nd:YVO<sub>4</sub>を固体レーザ活性媒質として用い

れば、励起源の波長のばらつきに対して裕度が高い。また、吸収幅が広く、誘導放出断面積が大きいために基本波発生効率が高い。また、Qパルスレーザを構成した場合には誘導放出断面積が大きいために高い繰り返し周波数でQスイッチ動作を行っても短いパルス幅を持つ波長変換レーザビームを発生できる。さらに、パルス幅が短いために波長変換効率を高くできる。以上のような性質を持つ波長変換レーザをさらに取扱の容易な装置とすることができる。

【0049】実施の形態7. 図1の波長変換レーザ装置の第2高調波発生用波長変換結晶あるいは和周波発生用波長変換結晶として、LiBO<sub>3</sub>(LiB<sub>3</sub>O<sub>5</sub>)を用いることができる。LiBO<sub>3</sub>結晶は他の結晶と比べて、ダメージ閾値が高いため、高出力で高ピークパルスの波長変換レーザビームを発生することができる。また、他の第2高調波発生用波長変換結晶、例えば、KTP結晶に比べると、温度に依存した屈折率の変化が小さく、熱伝導率が高いため発熱による影響が小さい。また、現在第3高調波発生用として用いられているβ-BBO結晶に比べると、角度位相整合許容幅が広い

ため、高出力の和周波レーザビームを安定に高効率に発生することが可能である。以上述べたような優れた特徴を持つLiBO<sub>3</sub>結晶を図1に示した構成における第2高調波発生用波長変換結晶や和周波発生用波長変換結晶として用いることによって、高出力、高効率で安定な取扱の容易な波長変換レーザ装置を構成することができる。

【0050】実施の形態8. 本発明の波長変換レーザ装置は、和周波レーザビーム平均出力が1W以上で特に効果を発揮する。和周波レーザビーム発生用波長変換結晶および第2高調波発生用波長変換結晶から取り出される波長変換レーザビームの平均出力が大きくなると、波長変換結晶に熱歪みが生じ出力が不安定になり、光学素子のアライメントが複雑になる。また、出力を大きくするために固体レーザ活性媒質を高励起する必要があるため、固体レーザ活性媒質にも熱レンズや、熱複屈折等の歪みが生じ、出力が不安定になり、光学素子のアライメントが複雑になる。さらに、光学素子上のレーザビームの平均強度が高くなるため、光学素子にダメージを生じやすくなる。また、波長変換結晶は温度変化によって、位相整合角度が変化する。特に和周波レーザビームの平均出力が1W程度以上になると以上のような素子の熱歪みの影響が顕著に現れる。このような状況において、第2高調波発生用波長変換結晶を短くすれば、波長変換結晶角度に依存した特性が単純化でき、熱歪の影響がある状況下でも再現性良くアライメントすることが可能となる。また、第2高調波発生用波長変換結晶の位相整合角度許容幅を広くすることが可能なため、温度変化により位相整合角度が変化しても、位相整合条件の変化による出力変化を小さいものとすることができる。以上述べたことにより、本発明の波長変換レーザ装置にあっては、和周波出力が1W以上の高出力動作においても安定で信頼性が高く、取扱の容易なレーザ装置を構成することが可能である。

【0051】実施の形態9. 図10は本発明の実施の形態9を示す構成図であり、図10において4aは基本波レーザビームに対して高い反射率を有し、第2高調波、第3高調波レーザビームに対して高い透過率を有するミラー、5aは第4高調波レーザビームに対して高い透過率を有し、第3高調波、第2高調波および、基本波レーザビームに対して高い反射率を有するミラー、6aは第2高調波発生用波長変換結晶、7aは第1の和周波発生用波長変換結晶、10は第2の和周波発生用波長変換結晶である。第2高調波発生用波長変換結晶6aは和周波発生用波長変換結晶7aおよび10より長さが短い。

【0052】図10に示す波長変換レーザ装置においては、レーザ共振器ミラー1、9、およびミラー4a、5a、固体レーザ活性媒質3、偏光方向規定素子2、Qスイッチ素子8によって発生する直線偏光基本波パルスレーザビームの一部はレーザ共振器内部に配置された第2高調波



発生用波長変換結晶6aによって第2高調波レーザービームに変換される。発生した第2高調波レーザービームの一部と第2高調波レーザービームに変換されなかった基本波レーザービームの一部は、レーザ共振器内部に配置された第1の和周波発生用波長変換結晶7aによって第3高調波レーザービームに変換される。発生した第3高調波レーザービームの一部および、基本波レーザービームの一部は第2の和周波発生用波長変換結晶10によって、第4高調波レーザービームに変換される。発生した第4高調波レーザービームはミラー5aから取り出される。第3高調波、第2高調波レーザービームはミラー4aから取り出される。

【0053】図10に示す波長変換レーザ装置においては、和周波発生用波長変換結晶として、基本波レーザービームと第2高調波レーザービームから第3高調波を発生させる和周波発生用波長変換結晶7aに加えて、基本波レーザービームと第3高調波レーザービームから第4高調波を発生させる第2の和周波発生用波長変換結晶10をレーザ共振器内部に挿入し、第4高調波を発生させるように構成してある。このように構成されたレーザ装置においても、第2高調波発生用波長変換結晶6aの長さ $l_{2\omega}$ を第1の和周波発生用波長変換結晶7aの長さ $l_{3\omega}$ や第2の和周波発生用波長変換結晶10の長さ $l_{4\omega}$ より短く設定したことにより、第2高調波発生用波長変換結晶角度に依存した和周波レーザービームの出力変化を単純なものとすることができる。なお、図10では和周波発生用波長変換結晶2個をレーザ共振器内部に挿入した場合について示したが、和周波発生用波長変換結晶の個数は2個に限るものではない。

【0054】実施の形態10. 図11は本発明の実施の形態10を示す構成図であり、図11において3a、3bは固体レーザ活性媒質、11は偏光素子としての90度偏光方向回転ローテータである。図11に示すように構成された波長変換レーザ装置においては、2つの固体レーザ活性媒質3a、3bの間に配置された90度偏光方向回転ローテータ11により、励起光や発振したレーザ光によって引き起こされる固体レーザ活性媒質内の、発熱に起因する偏光方向に依存した熱複屈折(複レンズ)を解消(補償)するように波長変換レーザ装置を構成し、和周波レーザービームを安定に発生できる励起強度内の領域を広げ、なおかつ、安定性、再現性を向上させることができる。なお、発振効率を増すことができる。さらに、図11に示した和周波発生装置においては、第2高調波発生用波長変換結晶6の長さを和周波発生用波長変換結晶7より短く設定しているので、さらに安定性、再現性が高く取扱いの容易な装置を構成することができる。

【0055】実施の形態11. 図12は本発明の実施の形態11を示す構成図であり、図12において12は拡散接合や、同一の波長変換結晶ホルダーに和周波発生用波長変換結晶7bと第2高調波発生用波長変換結晶6bの2個の波長変換結晶を固定する等の手段によって一体化した

波長変換素子である。第2高調波発生用波長変換結晶と和周波発生用波長変換結晶が一体化された波長変換素子12は、一体的に温度を変化させ、波長変換結晶の屈折率(温度に依存して変化する)を所定の値に設定したり、角度を微調整する等の位相整合を行わせる機構19が設けてある。また、一体化された波長変換素子12を構成する第2高調波発生用波長変換結晶6bは和周波発生用波長変換結晶7bより長さが短い。

【0056】図12に示す波長変換レーザ装置においては、レーザ共振器ミラー1、4、およびミラー5、9、固体レーザ活性媒質3、偏光方向規定素子2、Qスイッチ素子8によって発生する直線偏光基本波パルスレーザービームの一部はレーザ共振器内部に配置された波長変換素子12を構成する第2高調波発生用波長変換結晶6bによって第2高調波レーザービームに変換される。発生した第2高調波レーザービームの一部と第2高調波レーザービームに変換されなかった基本波レーザービームの一部は、波長変換素子12の和周波発生用波長変換結晶7bによって和周波レーザービームに変換される。発生した和周波レーザービームはミラー5から取り出され、第2高調波レーザービームは4から取り出される。

【0057】図12に示す波長変換レーザ装置においては、第2高調波発生用波長変換結晶6bと和周波発生用波長変換結晶7bとを一体化した波長変換素子12を作成する際に、第2高調波発生用波長変換結晶6bと和周波発生用波長変換結晶7bの位相整合角度許容幅の重なりが大きくなるようにする必要がある。また、波長変換結晶は温度変化にともなって、位相整合角度が変化することが知られているが、第2高調波発生用波長変換結晶6bと和周波発生用波長変換結晶7bでは一般に角度の変化の仕方(位相整合角度が変化する方向、変化する大きさ)が異なるため、図12に示す構成を用いて、出力の高い和周波レーザ装置を構成した場合に、高い平均出力によって、波長変換素子12に温度変化が起こり、第2高調波発生用波長変換結晶6bと和周波発生用波長変換結晶7bとにおいて、異なる大きさで、異なる方向に位相整合角度の変化が起こった場合でも位相整合がとれるように、実用上問題がないレベルに位相整合許容角度幅が広い必要がある。本実施形態では、図12に示したように、第2高調波発生用波長変換結晶6bの長さが和周波発生用波長変換結晶部分7bより短いため、第2高調波発生用波長変換結晶の位相整合角度許容幅を広く設定でき、波長変換素子12の製作が容易である。また、高出力のレーザービームを発生させた際における温度変化による位相整合角度変化に対しても裕度をもった装置を構成することが可能である。

【0058】実施の形態12. 図13は本発明の実施の形態12を示す構成図である。図1のミラー4、5に替えてプリズム等の屈折率の波長分散を利用したレーザービーム分離光学素子5bを用いたものであり、レーザービーム

分離光学素子により、基本波、第2高調波レーザービーム（図13中の2ω）および和周波レーザービームとしての第3高調波レーザービーム（図13中の3ω）に分離する。この構成にあっても、図1の構成と同様な動作が行え、安定で再現性の良い装置を提供する。

【0059】実施の形態13．図14は本発明の実施の形態13を示す構成図である。図14において、17はレーザー加工機光源であり、図1、10、11、12、13に示した波長変換レーザー装置を用いる。13はレーザービーム折り返しミラー、14はレーザービーム整形、集光素子、15は加工に用いるレーザービーム、16は加工対象である。図14のように構成されたレーザー加工装置においては、図1、10、11、12、13に示した波長変換レーザー装置17から発生したレーザービームを折り返しミラー13によって折り返し、14によって整形、集光して、被加工物16へ入射させ、加工を行う。図14のように構成されたレーザー加工装置においては、図1、10、11、12、13に示した波長変換レーザー装置17によって、安定に再現性よく発生されるレーザービームを用いるため、安定性、再現性の高い加工が可能である。また、波長変換レーザー装置17の構成部品（励起光源の半導体レーザー、ランプや、波長変換結晶、ミラー等の光学部品等）が損傷し、交換した場合等に調整が容易で、短時間で光学系や共振器の調整が完了し、レーザー装置を修理前の状態に再現でき、修理前と同じ動作条件で加工を行えば修理前の加工を再現できる。このように、図1、10、11、12、13に示した波長変換レーザー装置17を用いたレーザー加工装置は非常に安定で、再現性の良い加工を提供する。

【0060】

【発明の効果】この発明は以上説明したように構成されているので、以下に記載されるような効果を奏する。

【0061】この発明に係る請求項1記載のレーザー装置は、第2高調波発生用波長変換結晶と和周波発生用波長変換結晶とを固体レーザー活性媒質を含むレーザー共振器内部のレーザー光軸上に配置した波長変換レーザー装置において、上記第2高調波発生用波長変換結晶の光軸方向の長さを上記和周波発生用波長変換結晶の光軸方向の長さより短くしたので、第2高調波発生用波長変換結晶の角度に依存した和周波レーザービームの出力特性を単純なものにすることができ、取扱が容易で再現性の高い波長変換レーザー装置を構成することができる。

【0062】この発明に係る請求項2記載のレーザー装置は、請求項1に記載した波長変換レーザー装置において、和周波発生用波長変換結晶は第3高調波を発生する波長変換結晶としたので、第2高調波発生用波長変換結晶の角度に依存した第3高調波レーザービームの出力特性を単純なものにすることができ、取扱が容易で再現性の高い波長変換レーザー装置を構成することができる。

【0063】この発明に係る請求項3記載のレーザー装置

は、請求項1に記載した波長変換レーザー装置において、和周波発生用波長変換結晶が複数の波長変換結晶としたので、第2高調波発生用波長変換結晶の角度に依存した和周波レーザービームの出力特性を単純なものにすることができ、取扱が容易で再現性の高い波長変換レーザー装置を構成することができる。

【0064】この発明に係る請求項4記載のレーザー装置は、請求項3に記載した波長変換レーザー装置において、和周波発生用波長変換結晶は2個の波長変換結晶からなり、第4高調波を発生するようにしたので、第2高調波発生用波長変換結晶の角度に依存した第4高調波レーザービームの出力特性を単純なものにすることができ、取扱が容易で再現性の高い波長変換レーザー装置を構成することができる。

【0065】この発明に係る請求項5に記載のレーザー装置は、請求項1に記載の波長変換レーザー装置において、和周波発生用波長変換結晶が光軸上の固体レーザー活性媒質と第2高調波発生用波長変換結晶の間の位置になるよう配置したため、より安定で再現性の高い装置を提供する。

【0066】この発明に係る請求項6に記載のレーザー装置は、請求項1に記載の波長変換レーザー装置において、Qスイッチ素子等の共振器Q値変調用素子をレーザー共振器内部に配置しているため、連続発振時に比べて、波長変換効率が低い。この場合でも、波長変換結晶角度に依存した第2高調波出力変化、共振器内部基本波パワー変化を緩やかなで単純なものにすることができ、その結果、和周波レーザービーム出力の第2高調波発生用波長変換結晶角度依存性を単純なものとし、取扱いの容易な波長変換レーザー装置を構成することができる。

【0067】この発明に係る請求項7に記載のレーザー装置は、請求項1に記載の波長変換レーザー装置において、波長変換結晶として少なくとも1つ、±0.1度以上の精度で角度を微調整する手段の設けである波長変換結晶を用いており、従来なら、複雑な角度依存性によって取扱の難しかった波長変換レーザー装置を取扱の容易なものにすることができ、

【0068】この発明に係る請求項8に記載のレーザー装置は、請求項1に記載の波長変換レーザー装置において、波長変換結晶として少なくとも1つ、±0.5度以上の精度で角度を微調整する手段の設けである波長変換結晶を用いており、波長変換結晶の温度コントロールが必要で、なおかつ波長変換結晶が複雑な角度依存性を持つために取扱が難しかった従来の波長変換レーザー装置を取扱の容易なものにすることができ、

【0069】この発明に係る請求項9に記載のレーザー装置は、請求項1に記載の波長変換レーザー装置において、レーザー共振器内部に偏光素子を配置しており、安定性、再現性が高く、発生効率の高い波長変換レーザー装置を、さらに再現性が高く、なおかつ取扱の容易な波長変換レ

ーザ装置とすることができる。

【0070】この発明に係る請求項10に記載のレーザ装置は、請求項1に記載の波長変換レーザ装置においてレーザ活性媒質としてNd:YAGあるいはNd:YLFあるいはNd:YVO<sub>4</sub>を用いることで、安定性が高い、あるいは再現性が高い、あるいは発生効率がよくパルス幅が短い波長変換レーザ装置を、さらに再現性が高く取扱の容易な波長変換レーザ装置とすることができる。

【0071】この発明に係る請求項11に記載のレーザ装置は、請求項1に記載の波長変換レーザ装置において、第2高調波発生用波長変換結晶および第3高調波発生用波長変換結晶のうち少なくともどちらかにLiBO<sub>3</sub>を用いたため、安定性、再現性が高く、発生効率の高い波長変換レーザ装置を、さらに再現性が高く、なおかつ取扱の容易な波長変換レーザ装置とすることができる。

【0072】この発明に係る請求項12に記載のレーザ装置は、請求項1に記載の波長変換レーザ装置において、和周波レーザビーム平均出力が1W以上のレーザ装置である。かかる装置においては、熱歪、光学素子へのダメージ、波長変換結晶の温度変化に起因した位相整合角度ずれがある状況下でも、第2高調波発生用波長変換結晶が短く、位相整合許容幅が広いため、取扱の容易で、高平均出力でも、安定性、再現性が高く、発生効率の高い波長変換レーザ装置を構成することができる。

【0073】この発明に係る請求項13に記載のレーザ装置は、請求項1に記載の波長変換レーザ装置において、第2高調波発生用波長変換結晶と和周波発生用波長変換結晶の温度または角度を一体的に変化させるよう第2高調波発生用波長変換結晶と和周波発生用波長変換結晶とを一体化した波長変換素子とした。かかる装置においては、一般に温度による位相整合許容角変化の仕方が異なる和周波発生用波長変換結晶と第2高調波発生用波長変換結晶を一体化しているにもかかわらず、波長変換結晶が温度変化した際にも、両者の位相整合許容角度が実用上問題ない程度に重なり合うよう波長変換レーザ装置を構成することが可能であり、安定なレーザ装置を構成することが可能である。

【0074】この発明に係る請求項14に記載のレーザ加工装置は、請求項1～請求項13のいずれか1項に記載の波長変換レーザ装置を加工用光源として用いたため、安価で、再現性が高く、高精度の加工を安定に長期間行うことができ、しかも装置のメンテナンスが非常に容易な装置を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態1～8による波長変換レーザ装置を示す構成図である。

【図2】レーザ共振器外部に第2高調波発生用波長変換結晶を配置し、第2高調波発生を行った際の、第2高調波発生用波長変換結晶角度に依存した第2高調波レー

ザビーム出力の変化を模式的に示した図である。

【図3】レーザ共振器内部に第2高調波発生用波長変換結晶を配置して、第2高調波発生を行った際の第2高調波発生用波長変換結晶角度に依存した第2高調波レーザビーム出力と共振器内部基本波レーザビームパワーの変化を模式的に示した図である。

【図4】レーザ共振器内部に第2高調波発生用波長変換結晶および、和周波発生用波長変換結晶を配置して、和周波発生を行った際の第2高調波発生用波長変換結晶角度に依存した和周波レーザビーム出力の変化を模式的に示した図である。

【図5】長い第2高調波発生用波長変換結晶を用いた場合の第2高調波レーザビーム出力および、共振器内基本波パワーの第2高調波発生用波長変換結晶角度に依存した出力変化を模式的に示した図である。

【図6】短い第2高調波発生用波長変換結晶を用いた場合の第2高調波レーザビーム出力および、共振器内基本波パワーの第2高調波発生用波長変換結晶角度に依存した出力変化を模式的に示した図である。

【図7】長い第2高調波発生用波長変換結晶を用いた場合の第2高調波レーザビーム出力および、和周波レーザビーム出力の第2高調波発生用波長変換結晶角度に依存した出力変化を模式的に示した図である。

【図8】短い第2高調波発生用波長変換結晶を用いた場合の第2高調波レーザビーム出力および、和周波レーザビーム出力の第2高調波発生用波長変換結晶角度に依存した出力変化を模式的に示した図である。

【図9】第2高調波発生用波長変換結晶の長さによる和周波出力の変化を示す図である。

【図10】本発明の実施の形態9による波長変換レーザ装置を示す構成図である。

【図11】本発明の実施の形態10による波長変換レーザ装置を示す構成図である。

【図12】本発明の実施の形態11による波長変換レーザ装置を示す構成図である。

【図13】本発明の実施の形態12による波長変換レーザ装置を示す構成図である。

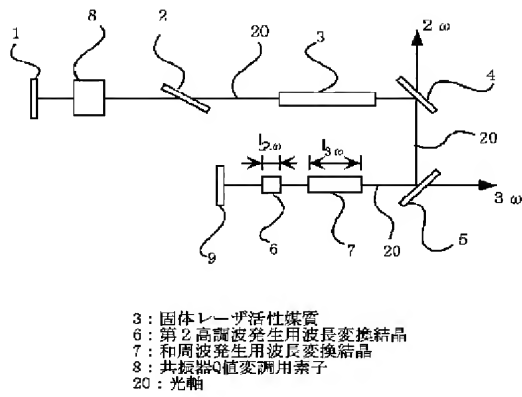
【図14】本発明の実施の形態13によるレーザ加工装置を示す構成図である。

【図15】従来の波長変換レーザ装置を示す構成図である。

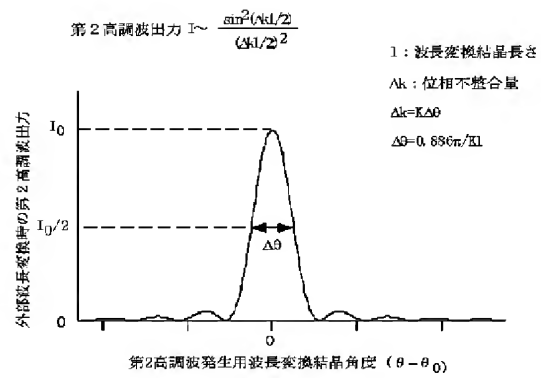
【符号の説明】

- 3、3a、3b 固体レーザ活性媒質
- 6、6a、6b 第2高調波発生用波長変換結晶
- 7、7a、7b、10 和周波発生用波長変換結晶
- 8 共振器Q値変調用素子
- 11 偏光素子
- 12 一体化した波長変換素子
- 16 被加工物
- 17 波長変換レーザ装置

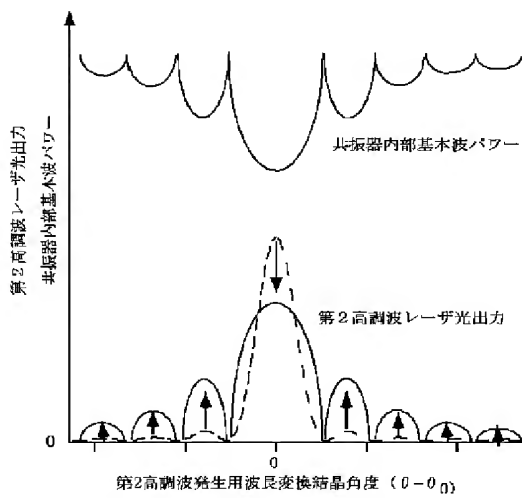
【図1】



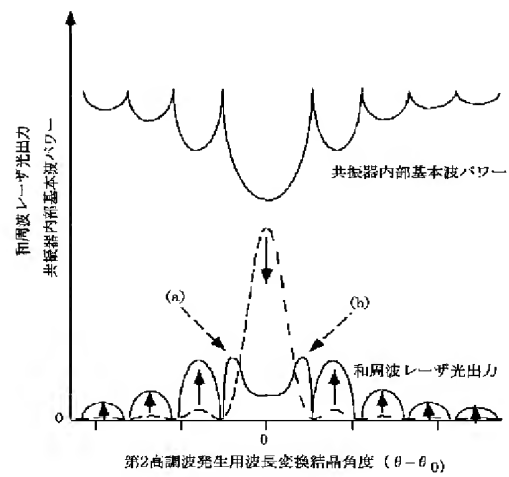
【図2】



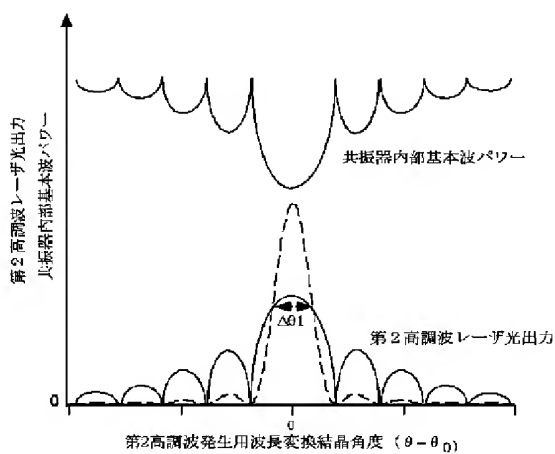
【図3】



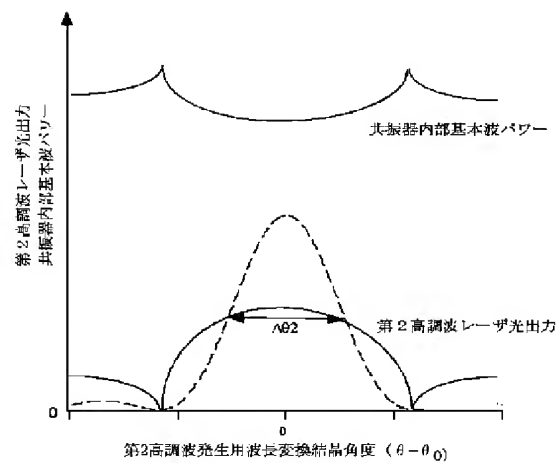
【図4】



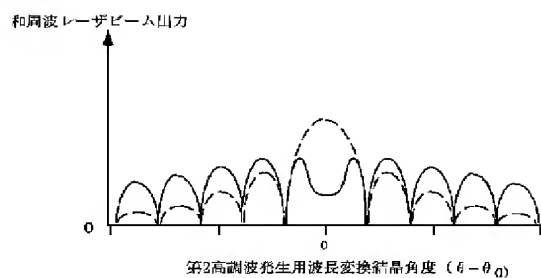
【図5】



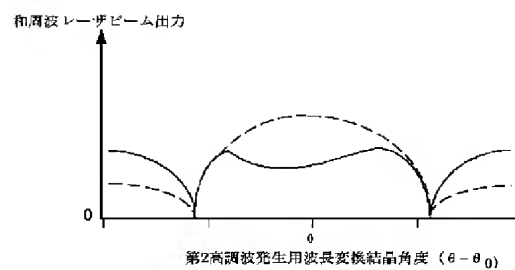
【図6】



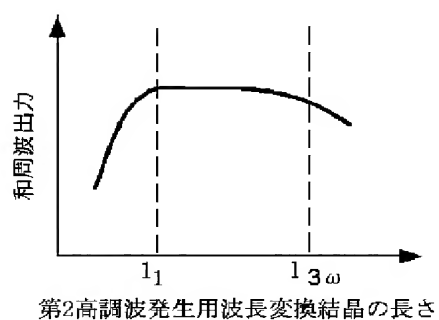
【図7】



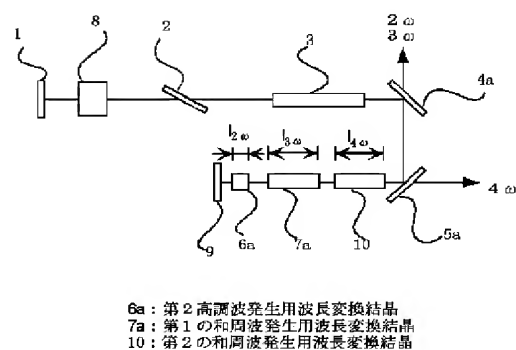
【図8】



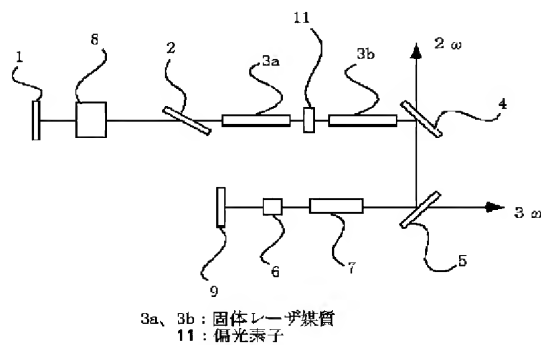
【図9】



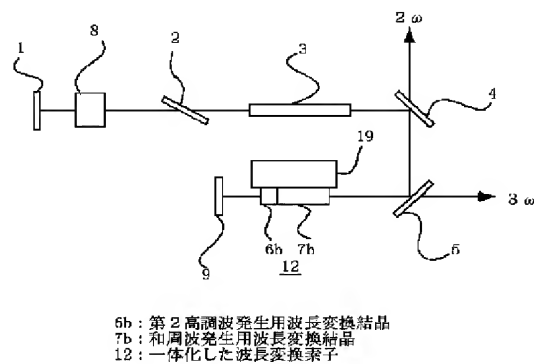
【図10】



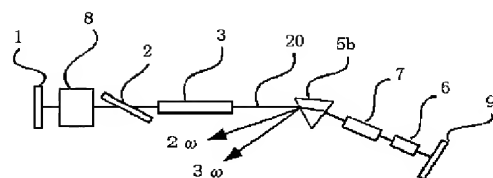
【図11】



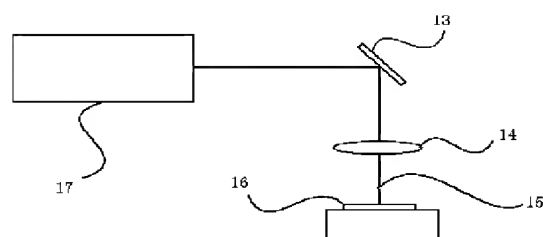
【図12】



【図13】

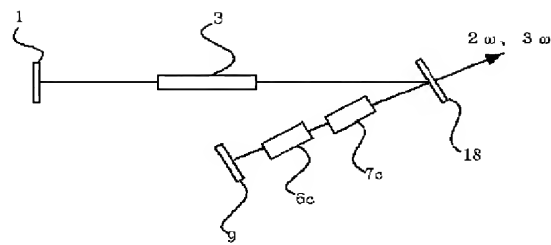


【図14】



16: 被加工物  
17: 波長変換レーザー装置

【図15】



---

フロントページの続き

(72)発明者 熊本 健二  
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三  
菱電機株式会社内

(72)発明者 岩城 邦明  
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三  
菱電機株式会社内  
Fターム(参考) 4E068 CA04 CD05  
5F072 AB02 JJ02 KK01 KK12 QQ02  
QQ04 SS06 YY06



**PAT-NO:** JP02000150999A  
**DOCUMENT-IDENTIFIER:** JP 2000150999 A  
**TITLE:** WAVELENGTH-CONVERTING LASER DEVICE AND LASER BEAM  
MACHINING DEVICE  
**PUBN-DATE:** May 30, 2000

**INVENTOR-INFORMATION:**

NAME	COUNTRY
KONNO, SUSUMU	N/A
YASUI, KIMIHARU	N/A
KUMAMOTO, KENJI	N/A
IWAKI, KUNIAKI	N/A

**ASSIGNEE-INFORMATION:**

NAME	COUNTRY
MITSUBISHI ELECTRIC CORP	N/A

**APPL-NO:** JP10328169  
**APPL-DATE:** November 18, 1998

**INT-CL (IPC):** H01S003/109 , B23K026/06 , H01S003/00 , H01S003/10

**ABSTRACT:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To simplify the sum frequency laser beam outputting characteristic of a wavelength-converting laser device by arranging a wavelength-converting crystal for generating second harmonic and another wavelength-converting crystal for generating sum frequency having a longer length than the crystal for generating second harmonic has in a laser resonator.

**SOLUTION:** Part of a linearly-polarized fundamental-wave pulse laser beam generated by means of laser resonator mirrors 1 and 9, mirrors 4 and 5 which work as reflecting mirrors against a fundamental wave, a solid state active laser medium 3, a direction-of-polarization stipulating element 2, and a resonator Q switch element 8 is transformed into a second-harmonic laser beam by means of a wavelength-converting crystal 6 for generating second harmonic arranged in a laser resonator. Part of the second-harmonic laser beam and part of the fundamental-wave pulse laser beam which is not transformed into the second-harmonic laser beam are transformed into a third-harmonic laser beam as a sum frequency laser beam by means of a wavelength-converting crystal 7 for generating sum frequency.



COPYRIGHT: (C) 2000, JPO